

배터리 충·방전용 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터의 스위칭 손실 최소화

권창근, 정재현, 노의철, 김인동, *김흥근, **전태원
부경대학교, *경북대학교, **울산대학교

Switching Losses Minimization of the Three-phase Interleaved Bidirectional DC-DC Converter for Battery Charging and Discharging

Chang Keun Kwon, Jae Hun Jung, Eui Cheol Nho, In Dong Kim, *Heung Geun Kim, **Tae Won Chun
Pukyong National Univ., *Kyungpook National Univ., **University of Ulsan

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터의 소프트스위칭 기법에 대해 연구하였다. 인터리브드 방식에 사용되는 소프트스위칭 기법의 장·단점을 파악하고 전기자동차 충·방전용으로 적합한 3상 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터의 소프트스위칭 기법에 대해 제안한다.

1. 서론

최근 신·재생에너지원의 불안정한 출력특성으로 인한 마이크로그리드에서 에너지 저장 시스템의 필요성과 전기 자동차를 이용한 V2G에 대한 관심이 대두됨에 따라, 양방향 DC DC 컨버터에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1]

본 논문에서는 전기자동차용 배터리의 충·방전을 위한 간단한 구조의 양방향 DC DC 컨버터의 소프트 스위칭 기법을 통한 고효율화 방안을 다루었다. 기존의 양방향 DC DC 컨버터에 사용된 소프트 스위칭 기법과 제안하는 소프트 스위칭 기법을 비교 분석하였다.

제안하는 방식은 1 모듈 3 폴 모듈을 사용하여 3상 인터리브드 DC DC 컨버터를 구성하고 각 상은 전류 불연속 모드로 동작 되도록 하며 소프트 스위칭을 통해 스위치의 턴 온이 영 전류에서 이루어지도록 하였다. 또한 각 폴의 스위칭이 120°의 위상차를 가지도록 하여 실제 배터리의 충전 및 방전 전류의 리플이 1 모듈 1 폴 컨버터를 사용하는 경우보다 작아지도록 하였다. 시뮬레이션을 통하여 3kW 충전시 기존의 소프트 스위칭 기법과 제안하는 소프트 스위칭 기법에 대해 비교분석 하였다.

2. 시스템 구성 및 충·방전 모드

그림 1은 기존의 양방향 DC DC 컨버터의 소프트 스위칭을 위한 회로를 나타낸다.^[2] V_B 는 배터리측 전압을 나타내며 V_{DC} 는 인버터의 DC link 전압을 나타낸다. 인버터는 계통 전압 V_S 와 연결되어 운전하게 된다. 충전시 스위치 S_{a2}, S_{b2}, S_{c2} 과 스위치 S_{a1}, S_{b1}, S_{c1} 는 일정한 데드타임(Dead time)을 갖고 상보로 동작하게 되며 스위치 S_{a1}, S_{b1}, S_{c1} 의 듀티를 조절하여 Buck 컨버터로 동작하게 된다. 방전시는 스위치 S_{a1}, S_{b1}, S_{c1} 과 스위치 S_{a2}, S_{b2}, S_{c2} 는 일정한 데드타임(Dead time)을 갖고 상보로 동작하게

되며 스위치 S_{a2}, S_{b2}, S_{c2} 의 듀티를 조절하여 Boost 컨버터로 동작한다. 인덕터 L은 스위칭 주파수가 50kHz인 경우 전류 불연속 모드로 동작하기 위해 66.7uH, 스너버 커패시터는 2nF으로 선정한다.

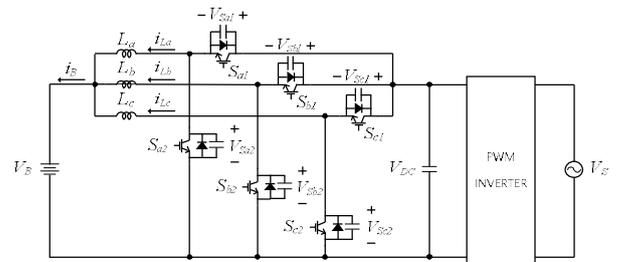


그림 1 기존의 양방향 DC-DC 컨버터

그림 2는 제안하는 1 모듈 3 폴로 구성된 양방향 DC DC 컨버터의 소프트 스위칭을 위한 회로를 나타낸다. 기존의 양방향 DC DC 컨버터와 동일한 조건으로 인덕터 L과 스너버 커패시터 값을 선정하였다. 기존의 소프트 스위칭기법에서 사용된 스위치 S_1 의 스너버 커패시터를 제거한 후 제안하는 스위칭 패턴을 통해 동일한 결과를 얻도록 하였다. 충전시 스위치 S_{a2}, S_{b2}, S_{c2} 는 오프신호가 인가되고 스위치 S_{a1}, S_{b1}, S_{c1} 의 듀티를 조절하여 Buck 컨버터로 동작하게 되고, 방전시 스위치 S_{a1}, S_{b1}, S_{c1} 에 오프신호가 인가되고 스위치 S_{a2}, S_{b2}, S_{c2} 의 듀티를 조절하여 Boost 컨버터로 동작하게 된다.

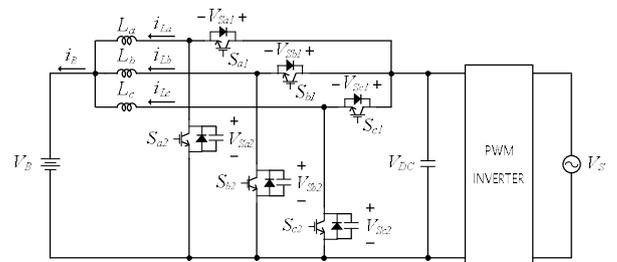


그림 2 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터의 소프트

본 논문에서 가정한 컨버터의 사양은 최대 출력 3kW이며, 배터리 전압은 완전 충전시 280V, 최저로 방전시 200V라고 가정하였다.

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 전류의 크기가 가장 큰 배터리가 최저로 방전된 상태($V_B=200V$)에서 계통에서 PWM 컨버터를 통하여 3kW의 전력을 공급받는 경우에 대하여 수행하였다.

3.1 각 시스템의 1-폴 시뮬레이션 결과

시스템에서 각 폴이 120° 의 위상차를 가지고 동일하게 동작하기 때문에 한 폴의 시뮬레이션 결과 파형을 각각 나타내었다.

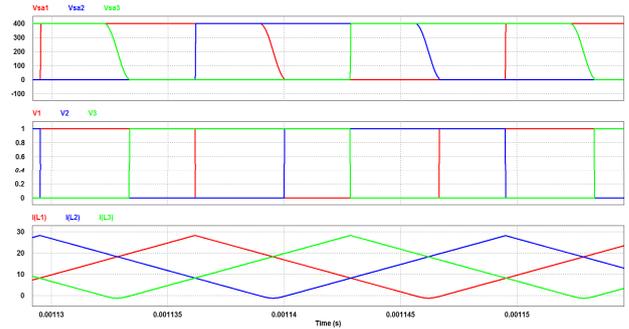


그림 5 제안하는 1-모듈 3-폴로 구성된 양방향 DC-DC 컨버터의 소프트 스위칭 기법

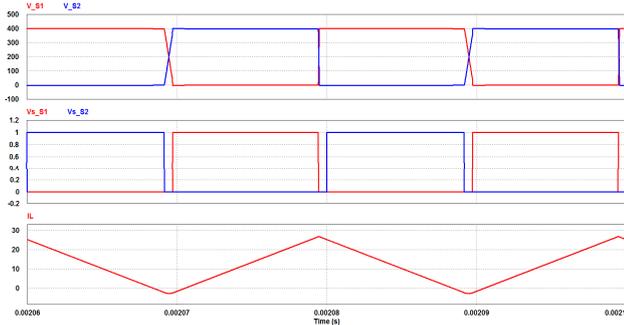


그림 3 기존의 양방향 DC-DC 컨버터의 소프트 스위칭 기법

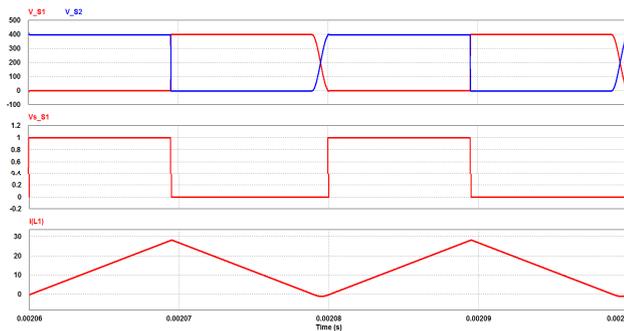


그림 4 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터의 소프트 스위칭 기법

기존의 시스템과 제안된 시스템 모두 스위치가 턴 온시 ZVS, ZCS, 턴 오프시 ZVS가 이루어지는 것을 확인 할 수 있다.

3.2 제안한 시스템의 3상 인터리브드 시뮬레이션 결과

그림 5는 제안하는 3상 인터리브드 양방향 DC DC 컨버터 방식의 소프트 스위칭 기법의 파형을 나타내었다. 턴 온시 ZVS, ZCS, 턴 오프시 ZVS가 이루어지는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전기자동차 배터리 충방전용 양방향 DC DC 컨버터의 소프트 스위칭 기법에 대해 분석하였다. 3상 인터리브드 컨버터를 소프트 스위칭 시킴으로서 스위치의 턴 온시 ZVS와 ZCS를 통해 스위칭 손실을 최소화하였고, 턴 오프시 ZVS를 통해 스위칭 손실을 감소시켰다. 제안한 방법은 기존의 DC DC 컨버터에서 사용한 6개의 스너버 커패시터를 절반으로 줄이는 효과가 있다. 즉, S_{a1} , S_{b1} , S_{c1} 의 스너버 커패시터 없이도 동일한 소프트 스위칭 효과를 얻을 수 있도록 하였다. 제안한 1 모듈 3 폴 시스템의 소프트 스위칭 기법은 배터리를 이용한 에너지 저장시스템을 구성하는 양방향 전력변환 시스템의 고효율화 및 원가 절감에 많은 기여를 할 것으로 기대된다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (NO. 20111020400260)

참고 문헌

- [1] 최석재, 김동명, 김수한, 최병조, “양방향 배터리 충방전 컨버터의 소신호 해석과 제어기 설계”, 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 177 178, 2011, 7.
- [2] Junhong Zhang, Rae young Kim, Jih Sheng Lai, “High Power Density Design of a Soft Switching High Power Bidirectional DC DC Converter”, IEEE Trans. on PE, Vol. 22, No. 4, pp. 1145 1153, July 2007.